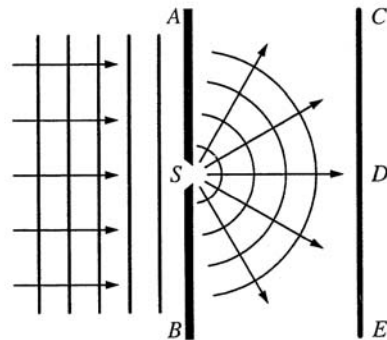


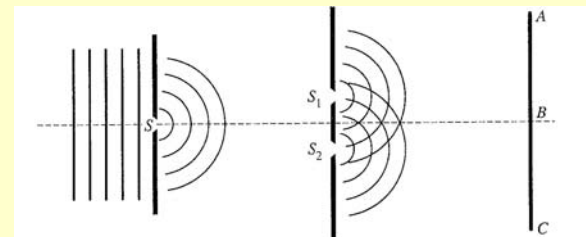
Huygens-elv

- **Diffrakció:** hullámok akadály széle mentén haladnak el ö szétszóródás
- **Huygens-elv:** hullámfront minden pontja elemi hullámok kiindulópontja
 - Résen való elhajlás
 - Ha a rés a fény hullámhosszához képest kicsiny, akkor 90° -os megfigyelési szög esetében sem 0 az intenz



6.1. ábra.
Szűk nyíláson áthaladó hullámok diffrakciója

- **Interferencia:** két vagy több hullám szuperpozíciója által okozott változás
 - Erősítő
 - Gyengítő
- **Young-féle interferométer**
 - Lyuk/rés-pár mögött interferenciacsíkok alakulnak ki



6.3. ábra.
Kísérleti elrendezés Young kettős nyílású kísérletéhez



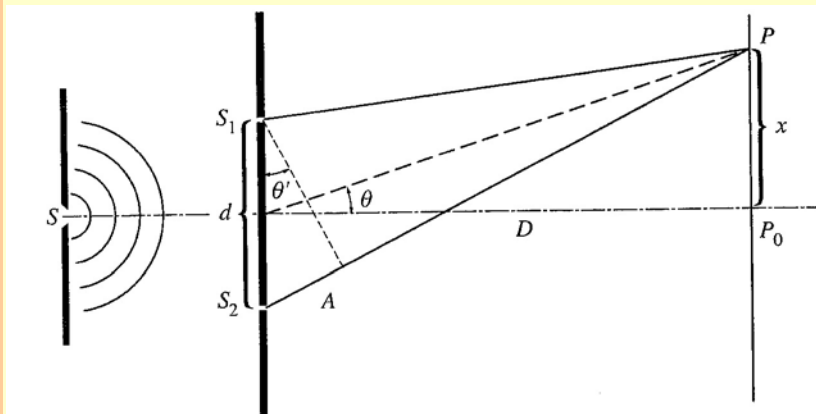
6.1. ábra.
Kettős nyílás okozta interferenciacsíkok a 6.3. ábrán látható elrendezés felhasználásával

Kétsugaras interferenciák

■ Koherens fényforrások: az S_1 és S_2 források fázisainak pontról pontra meg kell felelniük egymásnak

■ Young-féle interferométer

● Hullámfront osztás



6.6. ábra.
Útkülönbség Young kísérletében

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} (S_2P - S_1P)$$

$$\Delta = d \sin \Theta = d \frac{x}{D}$$

Erősítés:

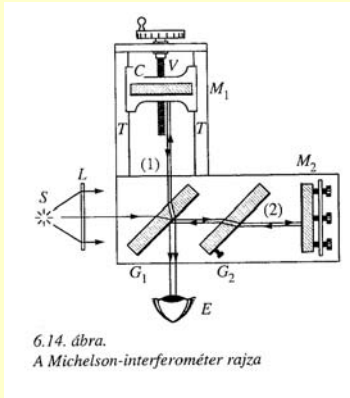
$$\frac{xd}{D} = m\lambda; \quad x = m\lambda \frac{D}{d}$$

Gyengítés:

$$\frac{xd}{D} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda; \quad x = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \frac{D}{d}$$

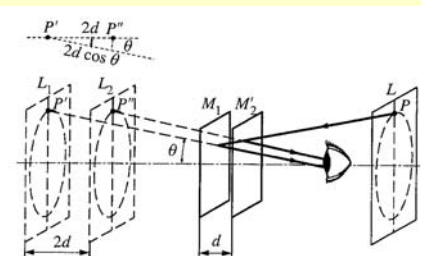
Kétsugaras interferenciák

Michelson interferométer



6.14. ábra.
A Michelson-interferométer rajza

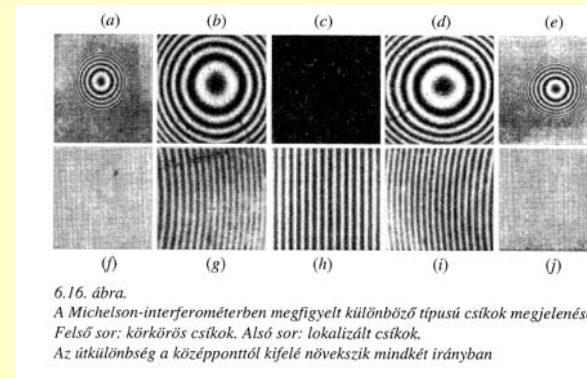
- Kiterjedt monokromatikus fényforrás: amplitúdó-osztás
- Tükrök merőlegesek,
- M_1 : mozgatható
- G_1 : féligáteresztő tükör
- G_2 : kompenzátor



6.15. ábra.
Körkörös csíkok keletkezése a Michelson-interferométerben

Egyenlő beesésű csíkok

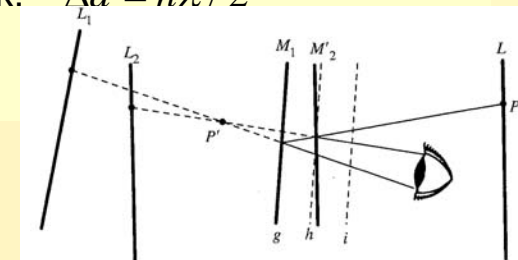
- Körkörös csíkok – egyszínű fény
- $2d \cos \Theta = m\lambda$



6.16. ábra.
A Michelson-interferométerben megfigyelt különböző típusú csíkok megjelenése.
Felső sor: körkörös csíkok. Alsó sor: lokalizált csíkok.
Az útkülönbség a középponttól kifelé növekszik mindkét irányban

Azonos szélességű csíkok

- Lokalizált csíkok döntött tükrökkel
- Görbülnek, konvexek az ék vékony szélé felé
- Új csík: $\Delta d = n\lambda / 2$

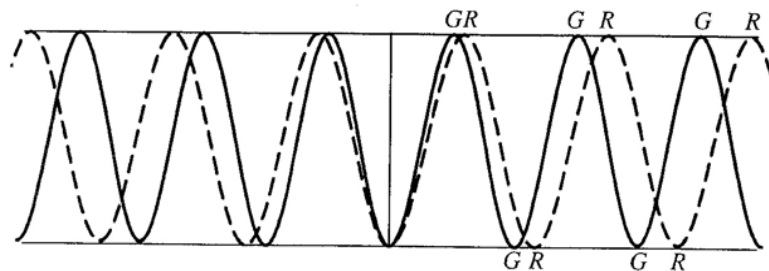


6.17. ábra.
Csíkok létrehozása ferde helyzetű tükrökkel a Michelson-interferométerben

Michelson interferométer alkalmazásai

Fehér fényű csíkok

- Kis mértékben döntött tükrök
- Központi sötét csík
- Mindkét oldalról 8-10 színes
- 400-750 nm közötti színek
 - $d=0$: a csíkok közepén egybeesnek
 - egy ideig elkülönülten színek
 - Később sötét sávok a gyengítés helyein



6.18. ábra.
Fehérfény csíkok keletkezése egy sötét csíkkal a középpontban

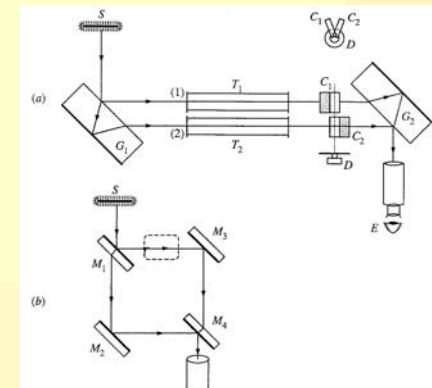
Alkalmazás:

- Színképvonalak szélessége és finomszerkezete
- Koherenciahossz-mérés
- Hosszmérés:
 - Középen áthaladó sávok számából a távolság
- Törésmutató mérés, refraktométerek

$$d_1 - d_2 = (m_1 - m_2) \frac{\lambda}{2}$$

- Jamin
- Mach-Zender
- Rayleigh

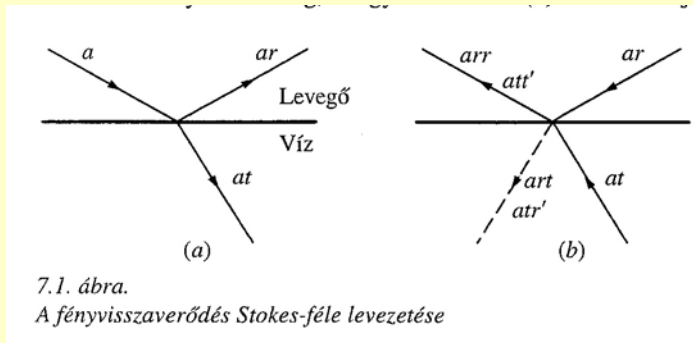
$$(n-1)t = \Delta m \cdot \lambda$$



6.22. ábra.
(a) A Jamin- és (b) a Mach-Zender-interferométer

Többsugaras interferencia

A fényvisszaverődés Stokes-féle levezetése



$$att' + arr = a$$

$$art + atr' = 0$$

$$tt' = 1 - r^2$$

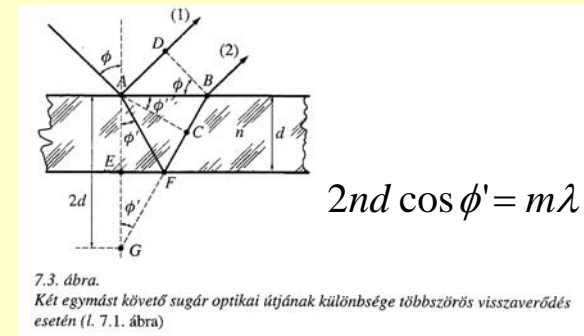
$$r' = -r$$

$$\text{azonban } t \neq t'$$

- Törésmutatót figyelembe kell venni az intenzitásban, a megmaradást a nyaláb össz-energiájára kell teljesülnön, ahol figyelembe kell venni a sugár szélességének változását!

Visszaverődés plan-parallel rétegről (olajfilm):

- Az 1. és 2. sugár kioltásának feltétele, figyelembe véve az 1. sugár visszaverődéskor bekövetkező fázisugrást:

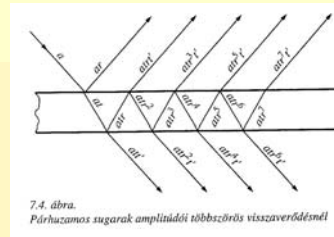


- A többi, 2-vel fázisban levő nyaláb hatásának figyelembe vétele:

$$A = atrt' \frac{1}{1 - r^2}$$

$$A = ar$$

- Az 1 amplitúdójával megegyezés miatt teljes kioltás:



Többsugaras interferenciák

Plan-parallel lemez

$$2nd \cos \varphi' = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

- Egy csíkra a szög rögzített: körívek
- Vastag lemezek, merőleges beesés: Haidinger csíkok

Ék alakú lemezek

- Azonos vastagságú csíkokra az erősítés feltétele

$$2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

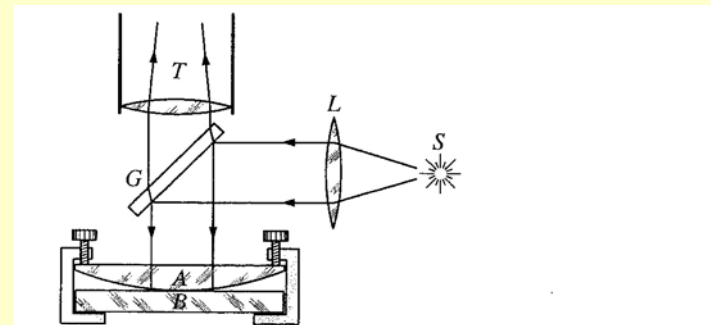
- Optikai elemek tesztelése

Newton gyűrűk

- Nagy fókusztávolságú lencse és síklap között az azonos vastagságú csíkok: gyűrűk

$$d = \frac{r^2}{2R}$$

$$2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$



7.7. ábra.

Kísérleti berendezés a Newton-gyűrűk megfigyelésére és mérésére

Diffrakció

❖ Diffrakció: elhajlító objektum árnyékterében szóródás

- Hullámtermészet

❖ Fraunhofer

- Fényforrás és képernyő végtelen távolságra

❖ Fresnel

- Forrás vagy képernyő vagy mindkettő véges távolságra

❖ Résen való elhajlás

- Szélessége: b

❖ A Huygens-elv alkalmazása:

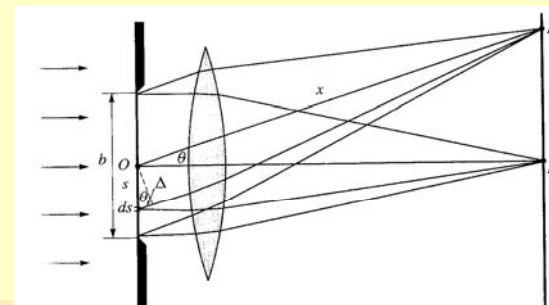
- A ds elemi elemi rész hatása P pontban

$$dy_0 = \frac{ads}{x} \sin(\omega t - kx)$$

- Különböző helyzetű elemi részek hatása:

$$dy_0 = \frac{ads}{x} \sin(\omega t - k(x + \Delta)) =$$

$$\frac{ads}{x} \sin(\omega t - kx - ks \sin \theta)$$



8.3. ábra.
Geometriai szerkesztés egyetlen rés keltette diffrakciós kép
intenzitásának vizsgálatára

Fraunhofer diffrakció

■ Az elemi részek hatásának összegezéséből:

● Az eredő rezgés amplitúdója:

$$y = \frac{ab}{x} \frac{\sin\left(\frac{1}{2} kb \sin \theta\right)}{\frac{1}{2} kb \sin \theta} \sin(\omega t - kx)$$

● Az intenzitás-eloszlás:

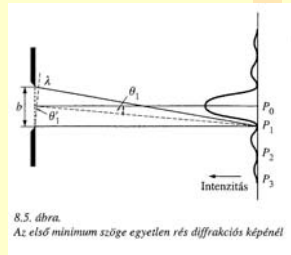
$$I \approx A^2 = A_0^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}$$

$$\beta = \frac{1}{2} kb \sin \theta = \pi b \sin \theta / \lambda$$

● Minimum feltétele: $b \sin \theta = \lambda$

● Minimumhelyek: $d = \frac{\lambda l}{b}$

$$x_{\min, k} = k \frac{\lambda l}{b}$$



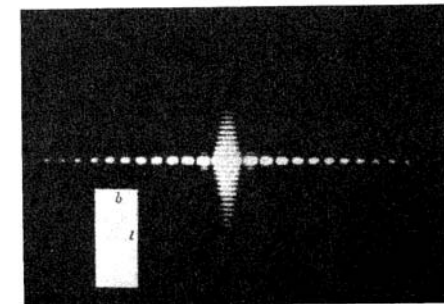
8.5. ábra. Az első minimum szöge egyetlen rés diffrakciós képénél

■ Téglalap alakú rés (b*d)

$$I \approx b^2 d^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \frac{\sin^2 \gamma}{\gamma^2}$$

$$\beta = (\pi b \sin \theta) / \lambda$$

$$\gamma = (\pi d \sin \theta) / \lambda$$

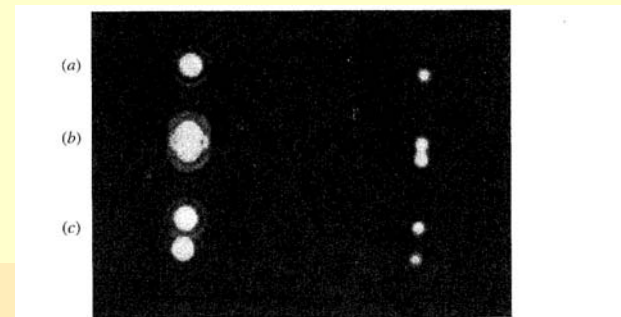


8.7. ábra. Téglalap alakú nyílás diffrakciós képe

■ Kör alakú nyílás: d átmérő

● Airy pattern: Bessel függvények

● 1. minimum iránya: $\sin \alpha = 1.22 \frac{\lambda}{d}$



8.11. ábra. Pontforrások kör alakú nyílással felvett diffrakciós képei: (a) egy forrásnál; (b) két alig elkülönült forrásnál; (c) két teljesen elkülönült forrásnál

Diffrakációs rács

■ Rács: egyenlő távolságra lévő rések sorozata

- Interferenciamaximumok elkeskenyednek
- Másodlagos maximumok jelennek meg
- Ideális rács Fraunhofer képének intenzitása:

$$I \approx A^2 = A_0^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \frac{\sin^2 N\gamma}{\sin^2 \gamma}$$

$$\gamma = \frac{\delta}{2} = \pi d \sin \theta / \lambda$$

d : rácsállandó

● Főmaximumok: $d \sin \theta = m\lambda$

● Minimumok:

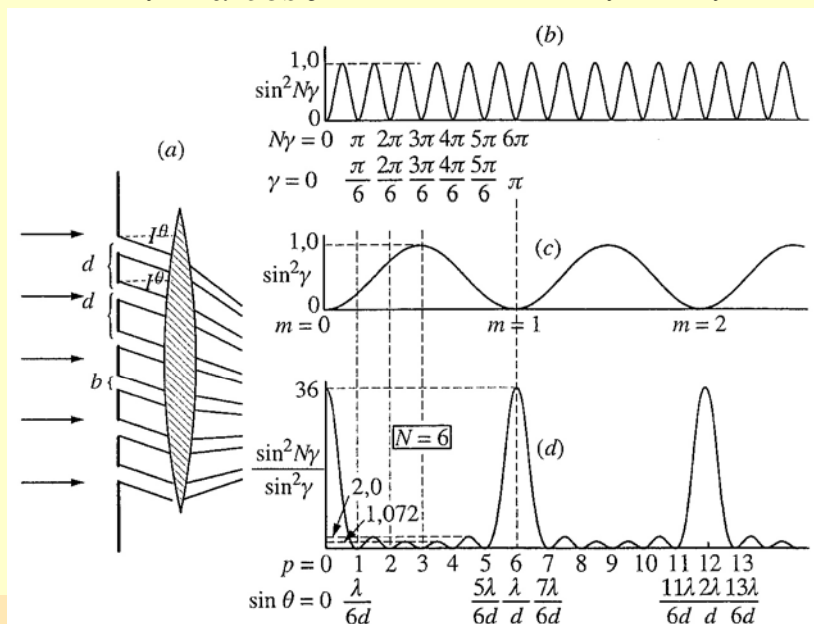
$$d \sin \theta = \frac{\lambda}{N}, \dots, \frac{(N-1)\lambda}{N}, \frac{(N+1)\lambda}{N}, \dots$$

■ Főmaximumok: színekvonalak

$$d(\sin i + \sin \theta) = m\lambda$$

■ (Szög)diszperzió: két szín λ_1 és λ_2 elkülönülésének jellemzésére

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta \lambda} = \frac{m}{d \cos \theta}, \quad \text{Lineáris: } \frac{\Delta l}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta \theta}{\Delta \lambda} f$$



10.3. ábra.
Hat nagyon keskeny résből álló rács Fraunhofer-diffrakciója,
az intenzitáskép részletei

Diszperzió

Diszperzió:

- Fény sebességének hullámhossz függése

Prizma diszperziója

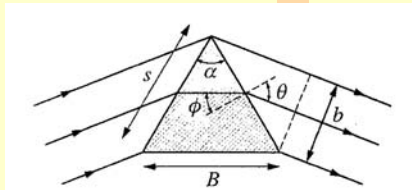
$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{d\theta}{dn} \frac{dn}{d\lambda}$$

- A geometriai tényező a minimális deviáció esetében:

$$\frac{d\theta}{dn} = \frac{2 \sin \varphi}{\cos \theta} = \frac{2 \sin(\alpha/2)}{\cos \theta}$$

$$\frac{d\theta}{dn} = \frac{2s \sin(\alpha/2)}{s \cos \theta} = \frac{B}{b}$$

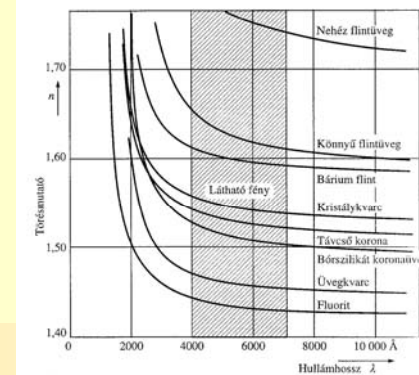
- A szög-diszperzió: $\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{B}{b} \frac{dn}{d\lambda}$



15.1. ábra.
Prizma fénytörése legkisebb eltérés esetén

Normális diszperzió

- A hullámhossz csökkenésével a törésmutató növekszik
- Rövidebb hullámhosszknál a növekedés nagyobb mértékű
- A meredekség korrelál a törésmutatóval
- Anyag-specifikus
- Ibolya nagyobb mértékben szóródik, mint a vörös
- Prizmás spektroszkópok besűrítenek a vörösben



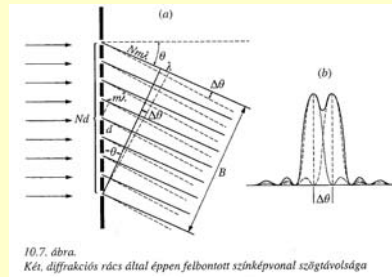
15.2. ábra.
Lencsék és prizmák alapanyagaként használt anyagok diszperziós görbéi

Spektroszkópok

A főmaximumok szélessége:

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{Nd \cos\theta}$$

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{B}$$



10.7. ábra.
Két, diffrakciós rács által éppen felbontott színekvonal szög távolsága

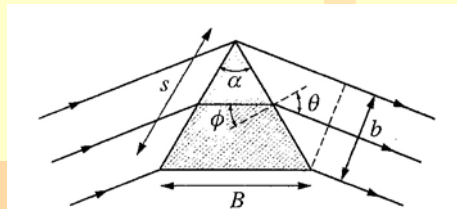
Feloldhatóság:

● m rendű főmaximuma $\lambda + \Delta\lambda$

● m rendű első minimum: λ

$$mN\lambda + \lambda = mN(\lambda + \Delta\lambda)$$

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$$



15.1. ábra.
Prizma fénytörése legkisebb eltérítés esetén

Felbontóképesség

● Szín-felbontóképesség = szög-diszperzió x nyaláb szélessége

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} \cdot b = \frac{m}{d \cos\theta} \cdot Nd \cos\theta = mN$$

Prizma esetére:

● A képek felbontási határából a minimális szög:

$$\Delta\delta = \frac{\lambda}{b}$$

● Prizma esetében:

$$\Delta\delta = \frac{\Delta c}{b}$$

● Az úthossz különbségre vonatkozó kritérium:

$$\Delta c = \lambda$$

$$\Delta c = \Delta n B \Rightarrow$$

$$\lambda = \Delta n B$$

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{B}{b} \frac{\Delta n}{\Delta\lambda} \cdot b = B \frac{\Delta n}{\Delta\lambda}$$

Normális és anomális diszperzió

Normális

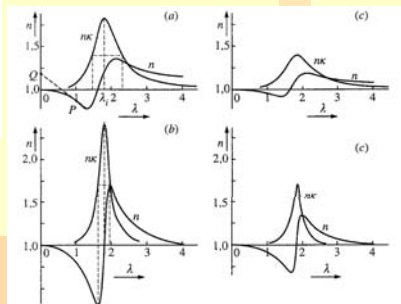
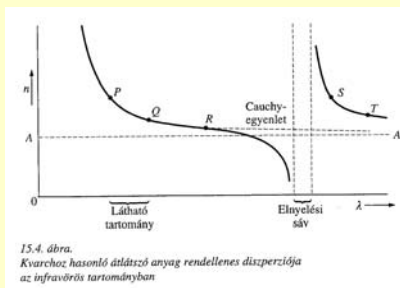
- Cauchy egyenlete

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$$

$$\frac{dn}{d\lambda} = -\frac{2B}{\lambda^3}$$

Anomális

- Diszperziós görbe a nagy abszorpció tartományában



15.8. ábra.
Oscillátor ideális diszperziós görbéi különböző mértékű sűrűlés és abszorpció esetén: (a) erős abszorpció, erős sűrűlés; (b) erős abszorpció, gyenge sűrűlés; (c) gyenge abszorpció, erős sűrűlés; (d) gyenge abszorpció, gyenge sűrűlés

Sellmeier egyenlete

- Modell: rugalmassági erők által kötött, sajátfrekvenciákkal jellemezhető rendszert alkotó részecskéinek rezonanciája

$$n^2 = 1 + \sum_i \frac{A_i \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_i^2}$$

Fényelnyelés hatása

- Modell: oszcillátor sebességével arányos súrlódási erő feltételezése – abszorpció hatása

$$\kappa_0 = \frac{\alpha \lambda}{4\pi}$$

$$n^2 - \kappa_0^2 = 1 + \sum_i \frac{A_i \lambda^2}{(\lambda^2 - \lambda_i^2) + g_i \lambda^2 / (\lambda^2 - \lambda_i^2)}$$

$$2n\kappa_0 = \sum_i \frac{A_i \sqrt{g_i} \lambda^3}{(\lambda^2 - \lambda_i^2)^2 + g_i \lambda^2}$$

Közegbeli fényterjedés

Hullám és csoportsebesség közegben

- Vákuumbeli fénysebesség: c
- Fénysebesség monokromatikus hullámra: a törésmutató által meghatározott fázissebesség:

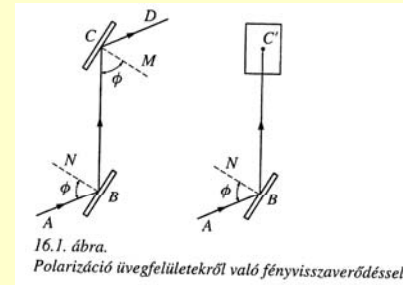
$$\frac{c}{v} = n$$

- Fénysebesség diszperzív közegben: a törésmutató és hullámhosszfüggése által meghatározott terjedési sebesség

$$\frac{c}{u} = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

Polarizáció

- Polarizáció tükrözéssel



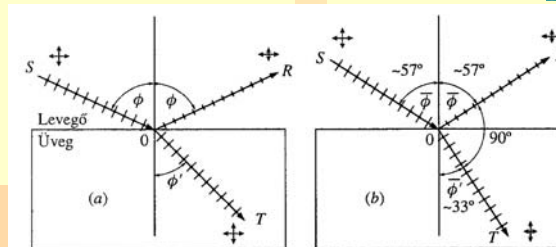
- Polarizáció síkja: elektromos téresősség-vektor rezgésének síkja
- Polarizációs szög, Brewster törvénye

- A visszavert és megtört fénysugar merőlegesek

$$\frac{\sin \phi}{\sin \phi'} = n$$

$$\frac{\sin \phi}{\cos \phi} = n$$

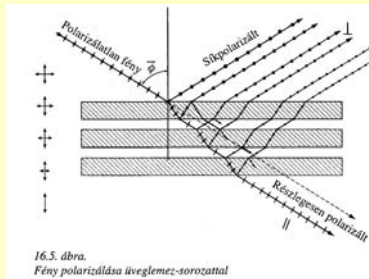
$$\phi_{\text{Brewster}} = \arctan n$$



16.4. ábra.
(a) Polarizáció fénytörésnél és fényvisszaverődésnél. (b) Brewster törvénye a polarizációs szögnél

Polarizációs eszközök

Polarizáció üveglemez sorozattal



16.5. ábra. Fény polarizálása üveglemez-sorozattal

- Visszavert: s
- Átmenő: fokozatosan p
- Polarizáció foka:

$$P = \frac{I_p - I_s}{I_p + I_s} = \frac{m}{m + [2n^2 / (1 - n)]}$$

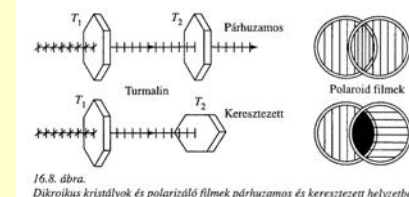
Malus törvénye:

- Polarizátor/analizátor átengedése

$$I_1 = A_1^2 \cos^2 \theta$$

Dikroikus kristályokkal polarizáció

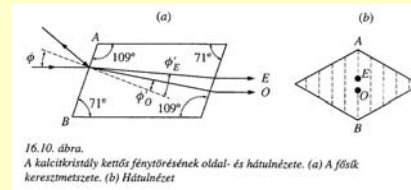
- Turmalin: a nem polarizált fény két komponensét eltérő mértékben abszorbeálja



16.8. ábra. Dikroikus kristályok és polarizáló filmek párhuzamos és keresztezett helyzetben

Kettőtörő anyagok:

- Kvarc, kalcit
- Ordinárius: Snellius-Descartes szerint
- Extraordinárius: eltérő módon törnek



16.10. ábra. A kalcitkristály kettős fénytörésének oldal- és hátnézete. (a) A fősík keresztmetszete. (b) Hátnézete

- Optikai tengely: a kristály szimmetriatengelye
 - Nincs kettőtörés az optikai tengely mentén

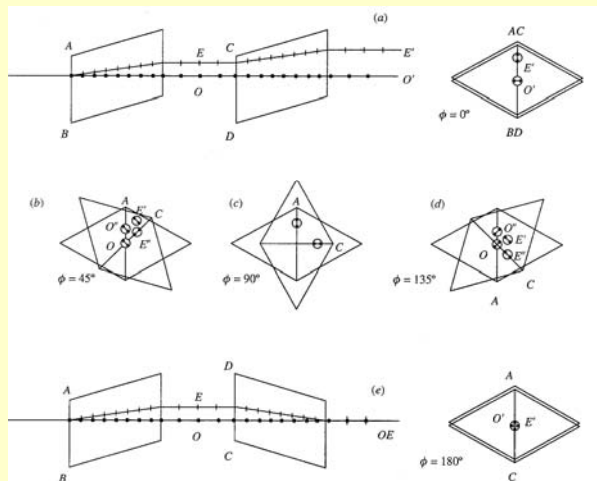
Polarizáció kettőstöréssel

Főmetszet:

- Optikai tengelyt tartalmazza
- Merőleges valamely hasadási irányra

Fősíkj:

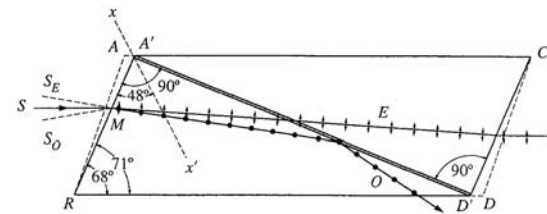
- Közönséges sugár fősíkj
- Különleges sugár fősíkj



6.11. ábra. Kettőstörés és polarizáció két kalcitkristályban, melyek főmetszetei különböző szögekben zárnak be

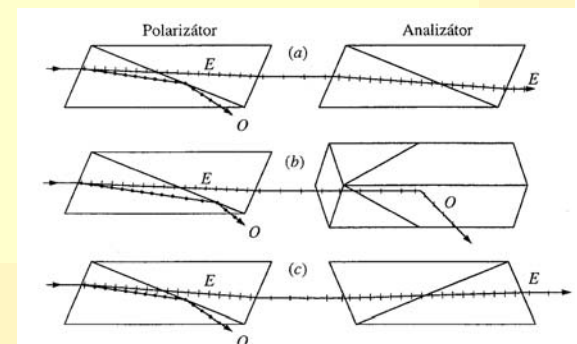
Nicol prizma

- Egyik (ordinárius) nyaláb eliminálása teljes visszaverődéssel



16.13. ábra. Kalcitkristályból készített Nicol-prizma részletes rajza

- Polariszkóp: polarizátor és analizátor

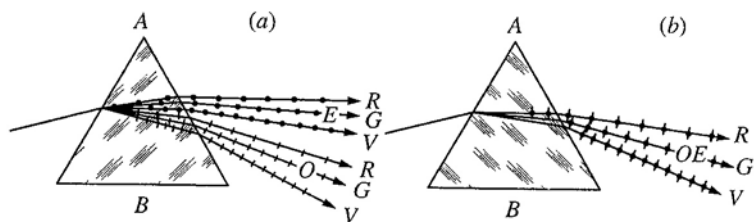


16.14. ábra. Két polarizátorként és analizátorként használt Nicol-prizma

Polarizátorok

Kalcitprizmák

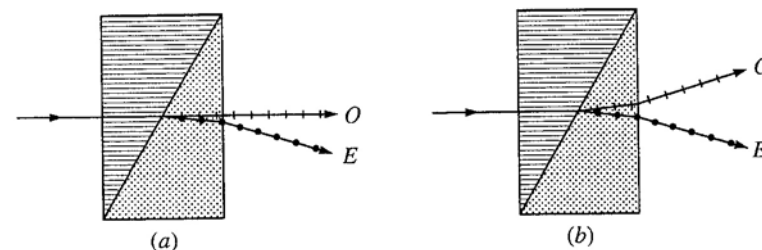
- Törő-él párhuzamos az optikai tengellyel
 - Két teljes színekép
- Törő-él az alappal párhuzamos



16.15. ábra.
Fehér fény kettős és egyszeres törése különböző szögekben kivágott kalcitkristály-prizmákban

Rochon

- Ordinárius sugarakat polarizáltan, akromatikusan továbbítja



16.16. ábra.
Kvarcból készült (a) Rochon- és (b) Wollaston-prizmák ábrái

Wollaston

- Nagy szögelkülönülést eredményez a két polarizációra